

УДК 539.3

А.А.Ивушин (6 курс, каф. МПУ), Д.В.Шевченко, к.т.н., асс., А.И.Боровков, к.т.н., проф.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО КОМПОЗИТА ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОРИЕНТАЦИИ ВОЛОКОН

Композиционные материалы в целом и материалы, подкрепленные различными волокнами, приобретают широкое применение, особенно в области проектирования и производства высокопрочных и высокотехнологичных конструкций (авиа- и автомобилестроение, биомеханика и т.д.). Поэтому важно понимать механические процессы, происходящие в таких структурах, особенно процессы накопления поврежденности, деламинации, разрушения матрицы и включения.

Рассматривается образец однонаправленного волокнистого композита (рис. 1), квазистатически растягиваемый осевыми силами. Геометрические характеристики: $a = 0.06$ м, $b = 0.018$ м, $c = 0.03$ м, $d = 0.024$ м, $f = 0.04$ м. Задача решается в плоскодеформированной постановке.

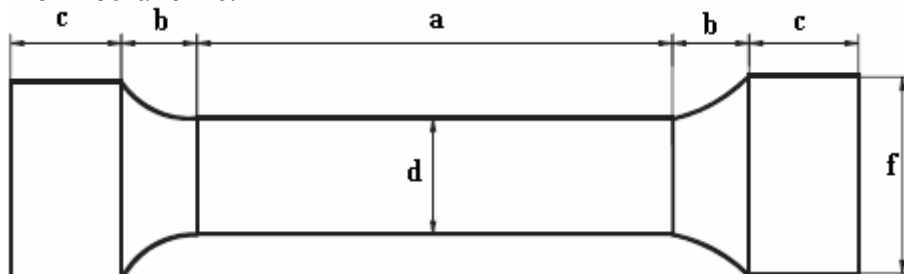


Рис. 1. Геометрия образца

Объемная доля стекловолокна в резиновой матрице составляет 60%. Композиционный материал моделируется упругим гомогенным ортотропным материалом [1]. Свойства материала: продольный (в направлении, параллельном волокнам) модуль Юнга $E_{long} = 46$ ГПа, поперечный (в направлении, перпендикулярном волокнам) модуль Юнга $E_{tr} = 10$ ГПа, модуль сдвига $G = 4$ ГПа. Напряжения, соответствующие разрушению структуры материала: $\sigma_l = 1400$ МПа, $\sigma_t = 55$ МПа, $\tau_{lt} = 70$ МПа. Предполагается, что достижение любым компонентом тензора напряжений предельного значения приводит к хрупкому разрушению элемента материала (отсутствие остаточных модулей упругости).

Были проведены вычисления для двух вариантов ориентации волокон материала в образце (угол поворота волокон относительно продольной оси образца — 15° и 30°), а также для двух вариантов КЭ сетки (крупная — $N = 2200$ элементов, рис. 2, мелкая — $N = 8800$ элементов, рис. 3).

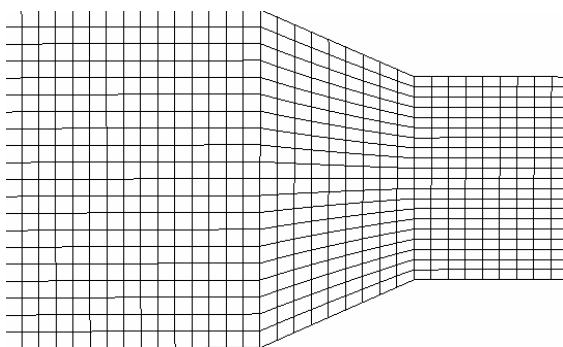


Рис. 2. КЭ сетка 2200 элементов

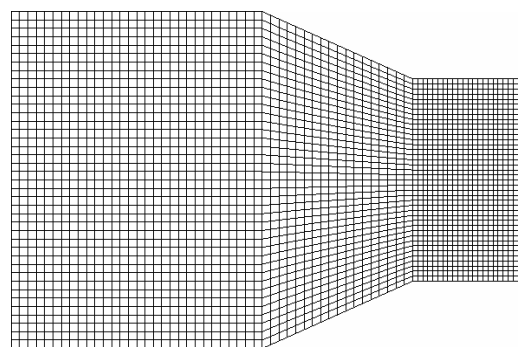


Рис. 3. КЭ сетка 8800 элементов

На рис. 4–9 представлены результаты численного решения в сравнении с известными из литературы [2].



Рис. 4. $N = 2200$, $\theta = 15^\circ$



Рис. 5. $N = 8800$, $\theta = 15^\circ$

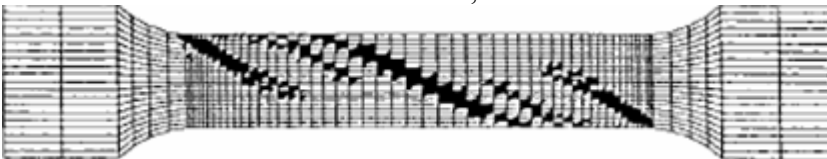


Рис. 6. из [2], $\theta = 15^\circ$

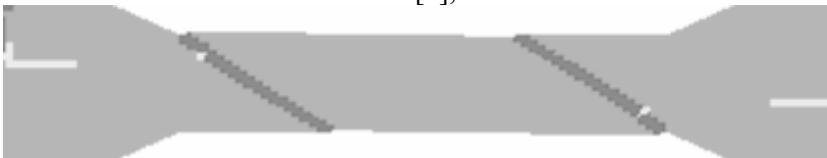


Рис. 7. $N = 2200$, $\theta = 30^\circ$



Рис. 8. $N = 8800$, $\theta = 30^\circ$

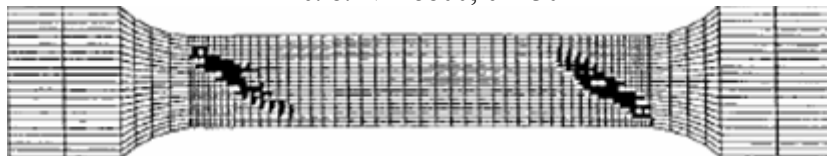


Рис. 9. из [2], $\theta = 30^\circ$

Из приведенных рисунков можно сделать вывод о том, что полученное численное решение качественно совпадает с приведенным в литературе, а также что решения сошлись по числу степеней свободы.

Кроме того, видно, что процесс разрушения композита протекает по-разному при разных углах отклонения направления волокон от продольной оси образца. При больших углах отклонения ($\theta = 30^\circ$) происходит разрушение нормальным отрывом (аналогично K_I) в поперечном относительно волокон направлении. При малых углах отклонения ($\theta = 15^\circ$) происходит разрушение срезом (аналогично K_{II}) как вдоль волокон, так и в других направлениях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. AUTODYN: Explicit software for nonlinear dynamics. Theory manual. Revision 4.3.
2. M.Cheikh. Computers and Structures. 78 (2000), p. 725-736.